

持続的社会構築のための高分子化学の発展

林 隆 紀

緒 言

地球に存在する生物の一種である人類は地球の豊かな恵みを存分に享受し、謳歌してきた。つい100年前までは自然は我々に無尽蔵にエネルギー、食糧を与えつづけてくれると信じられていた。さらに20世紀のめざましい科学技術の発展は人々に豊かさと便利さを与え、将来に無限の夢と期待を膨らませた。特に米ソの宇宙開発の結果による月面着陸は、科学技術が限りなく進展する一つの象徴ともみられ、この時期、過度の科学信仰ともいうべき科学万能主義が頂点を極める。科学技術がもたらした利益や利便性が不利益や弊害よりはるかに大きかったために人類はその発展を無条件に受け入れたのである。その華々しい科学技術分野において高分子化学工業の発展は、石油などの化石資源を原料に、自然界にはない化学構造のプラスチックやフィルム、合成繊維、合成ゴムなどを安価に大量に生み出し、我々の生活における物質的な豊かさを飛躍的に向上させることになった。

しかし20世紀も終わりに近づくと、次第に資源やエネルギーを莫大に消費するつげが、資源枯渇、環境破壊という形で我々に跳ね返ってきたのである。そして今日、我々は地球温暖化をはじめとするグローバルな環境問題や、環境ホルモンに代表される健康被害を伴う環境汚染、エネルギー資源問題などの重要かつ深刻な問題に直面しているのである。

社会科学的にも環境の概念が導入されたのはごく最近のことである。たとえば社会学者の主流派が人間存在の物理的、生物的、物質的基礎への関心を欠いてきたとの批判から、環境社会学は生まれたといわれる（バーチ、1971）。キャットンとダンラップは社会学でこれまで論争された視点は『人間特例主義パラダイム（HEP）』に準拠していると論じ、これに対抗する世界観として『新エコロジカルパラダイム（NEP）』を提唱した¹⁾。このようなパラダイム転換は社会学に限らず環境思想の流れの中にも見られ、「人間中心主義」から「生命中心主義」、あるいは「環境主義」への

変換が主張されてきた。

このように「地球上において人間のみが特別の存在であり、地球を都合よく利用、支配できる」というパラダイムは20世紀末になって崩壊した。上記のパラダイムを盲信する原動力となったのは不幸にも20世紀型科学技術であったため、一部では科学技術に対して激しい批判と排斥の論調が強まっているのは事実である。では人類の歴史の大きな流れは巨大物質文明を築き上げてきた20世紀型発展から180度転換した反技術文明へと向かっているのだろうか。否、そうではあるまい。科学技術そのものの是非を論ずる限り、現在の環境問題は永遠に解決不可能であると考ええる。持続的社会構築のために今技術はどうあるべきか、どのようなビジョンを描けるか。高分子化学という20世紀に花開き、現在大きな課題を抱えている分野を中心に、その重要な役割について考察する。

1. 環境問題と高分子化学

1-1. 20世紀型科学技術

イギリスに産業革命が起こり、近代科学が登場すると、人類は著しい変革期を迎えた。さらに20世紀を迎えて科学と技術が結びつき、新しい産業が花開き、「科学技術の世紀」と呼ばれた。中でも高分子化合物はあらゆる産業分野で必要不可欠な材料として活用され、この科学技術発展の一つの大きな柱に急成長した。ナイロンの合成から始まった高分子化学の歴史は、合成繊維で飛躍的に躍進するのみならず、塗料や各種構造物材、医療、情報分野にまでまたたく間に用途を伸ばした。合成高分子材料は軽く、安価で加工がしやすく、劣化しにくいなど、非常に優れた特性を数多くもち、現在では人々の暮らしに広く浸透している。しかしほとんどすべての合成高分子材料が石油資源から合成され、さらにそれまで自然界に存在しない物質であったことから、次第にそのマイナスの側面も表面化してきた。現在では不名誉にも廃棄物問題、環境ホルモン問題などの主原因として捉えられ、あたかも環境破壊型技術の旗手であるかのような扱いすら受けている。一般に持続可能性を考慮するとき、生態系の循環システムを考えることは基本であるが、特に都市部においては膨大な量の生活・産業廃棄物に占める高分子の割合が多いうえにその処理が困難になっているという現状があ

1) C・R・ハムフェリー『環境・エネルギー・社会』満田久義他訳、ミネルヴァ書房、1996年、pp. 13-15

る。これに対しては3R（リデュース、リユース、リサイクル）の働きかけが盛んになってきているものの、依然として廃棄物問題は深刻化の一途をたどっている。また前述したように高分子化合物の中には焼却によって環境汚染物質が発生する疑いがあるが、たれており、有害化学物質対策に関しても課題が山積している。

これらの深刻な状況を受けて、社会の持続可能な発展を目指して、「グリーンケミストリー」という考え方が世界規模で展開されている。この考え方は1990年代初頭にアメリカ化学会と米国環境保護庁（EPA）が共同で進めたものである。

1-2. グリーンケミストリーの概念

グリーンケミストリーの12原理は P. T アナスタス（EPA）によって以下のように定義されている²⁾。

1. 廃棄物を出してから処理するのではなく、出さないようにすべきである。
2. 合成は原料が最終生成物の中に最大に取り込まれるようなプロセスにすべきである。
3. 反応物と生成物は人と環境に害のより少ないものにすべきである。
4. 化学物質は、機能を維持しながら、毒性を低下させるようにすべきである。
5. 溶媒、分離溶剤など補助物質は、使わないか、使うにしてもより無害なものにすべきである。
6. エネルギーを要する場合は、環境と経費の負荷を考え、できるだけ最小にすべきである。
7. 原料は、枯渇性の資源ではなく、再使用可能なものにすべきである。
8. 保護／脱保護基、プロセスの一時的修飾など途中の修飾反応は可能な限り避けるべきである。
9. 化学量論的な試薬より、可能な限り、選択的な触媒反応をめざすべきである。
10. 化学物質は、使用後は環境への影響をより少なく分解するように設計すべきである。
11. 反応の最適化と危険物質発生を監視するため、実時間プロセス計測を導入すべきである。
12. 物質および化学プロセスは化学事故の可能性をより小さくするように設計すべきである。

また、1998年には経済協力開発機構（OECD）も国連環境開発会議のリオ宣言を受

2) 物質工学工業技術研究所編『安全な物質・優しい材料』1999年, pp. 254-255

けて「サステイナブルケミストリー」の概念を打ち立てた。

我が国でも2000年に化学系10団体（高分子学会，化学工学会，日本化学会，物質工学工業技術研究所，化学情報協会，新化学発展協会，日本化学工業協会，化学物質評価研究機構，バイオインダストリー協会，化学技術戦略推進機構）がグリーン・サステイナブル・ケミストリー・ネットワーク（GSCN）を設立した³⁾。

このように世界的には化学技術の発展は「持続可能な開発」と「エコロジー」を考慮した考えを主流として推進されはじめている。ただここで高分子化学関連の研究は全体の1割強に過ぎず，いまだ「グリーンケミストリー」の流れの中では大きなものではない。これは今まで我が国の高分子化学技術が海外から技術導入し，もっぱら生産性向上の観点から効率性に重点をおいて技術改良が進められてきたことが理由の一つとして指摘されている⁴⁾。そこで今後の高分子化学の「グリーンケミストリー」との関わり方についてであるが，はじめに述べた廃棄物としての課題を鑑みると，特に分解性プラスチックの分野が注目されている。

合成高分子，いわゆるプラスチックの多くは自然環境の中で分解されないために，不要となった大量の廃棄物が社会問題化，さらには環境問題化してきている。そこで光や微生物を分解の一過程に関与させて高分子量物質を低分子量物質に変換し，自然界の物質循環システムに組み込む試みがなされ，これらを総称して分解性プラスチックと呼んでいる⁵⁾。具体的には脂肪族ポリエステルや，ポリアミノ酸，バイオセルロースなどが研究されている。上述した3Rのシステムの確立，およびこの分解性プラスチックの研究を統合して総合研究を推し進めていくことがプラスチックの廃棄物問題を解決するために重要である。

1-3. 環境保全型技術と環境調和型技術

また高分子化学の環境保全分野への取り組みも行われている。たとえば地球温暖化の主原因となる二酸化炭素ガスの分離回収に高分子膜を応用する試みがなされている。ガス分離の研究は従来から天然ガス濃縮などの目的から多く開発されてきた。これらの技術応用の観点から膜分離を検討すると，（1）膜分離法は分離に際して相変化を伴わないため基本的に省エネルギー型である，（2）空気中への有害物質の排出がないクリーンな方法である，（3）設備のコンパクト化，操作性に優れる，などの

3) 染宮昭義（『化学経済』47巻10号，2000年，p. 43）

4) 染宮昭義「グリーンケミストリーからみた高分子合成プロセスの選択」（『高分子』49巻12号，2000年，pp. 822-825）

5) 土肥義治『分解性プラスチックの開発』シーエムシー，2000年，pp. 2-4

利点を有している。ここで大量のガスを処理できるものとして高分子膜が期待されているのである⁶⁾。

その他、砂漠の緑化技術への高分子技術の応用例もある。現在、地球の自然システムによる回復力を上回る規模で環境破壊が起こり、特に乾燥地域、半乾燥地域などにおいて急速に砂漠化が進行している。これは発展途上国の急激な人口増加とあいまって、深刻な食糧不足をもたらすことが懸念されている。そこで砂漠化の主要原因でもある水問題を解決するために高吸水性高分子素材を用いた緑化が検討されている⁷⁾。一般に高吸水性高分子素材は紙おむつなどの用途に広く利用されているが、環境保全型材料として捉えると汚水、廃水処理などを視野に入れた新規流体輸送システムの構築などにも応用が考えられる。

これらの地球規模のマイナス状況をゼロの地点までリカバーする技術を環境保全型技術と捉えるならば、これから産み出すものによって環境に負荷をかけない、いわゆる環境調和型技術も同時に検討され得る。これはゼロ維持の技術と呼んでよいであろう。

例えば現在様々な分野で使われ、現代生活に欠かせない材料であるポリ塩化ビニルは、(1)加工性がよい、(2)耐候性、耐薬品性に優れる、(3)難燃性である、(4)可塑剤の添加で軟質から硬質まで幅広い用途に用いることができる、(5)機械的強度に優れる、(6)非結晶性で透明である、(7)電気絶縁性に優れる、(8)着色が容易、(9)安価、など多くの利点を有している。しかし環境汚染、環境破壊の視点がクローズアップされてくると、有機化合物、塩素化合物であるポリ塩化ビニルはダイオキシン発生の可能性が否定できない(宮田秀明ら)ことなどから代替材料への転換が図られている。そこでポストポリ塩化ビニル材料の開発が進められている。その一例として正確な分子設計が可能なりビングアニオン重合と水素添加技術を用いてポリプロピレンやポリエチレンを透明・軟質化する新材料などが研究されている⁸⁾。

その他、塗料を構成する成分の9割は高分子化合物であるが、塗料が乾燥する際に環境に負荷をかける揮発性有機化合物(VOC)を低減させるための技術開発も進められている⁹⁾。

6) 真野弘「地球をまもる高分子膜」(『高分子』49巻12号, 2000年, pp. 830-833)

7) 原敏夫「砂漠の緑化」(『高分子』49巻12号, 2000年, pp. 367-370)

8) 竹村康彦「ポスト PVC 材料としての熱可塑性材料の展望」(『高分子』49巻12号, 2000年, pp. 834-837)

9) 青木啓「環境にやさしい塗料用樹脂の開発」(『高分子』49巻8号, 2000年, pp. 552-556)

このように高分子化学の分野においても少しずつ環境に配慮した研究開発に視点が向けられ始めてきていることは事実である。しかしその潮流が確固たるものになるためには、化学を専門としない一般の人々をも巻き込んで展開していかねばならないのは自明のことである。そこで化学技術および高分子化学というものに対する一般の認識はどのようなものであるかを検討することにした。

2. 科学技術に対する一般認識

～文系学生の環境と技術に関する意識調査をもとに～

2-1. 調査対象者の属性

大学の環境関連講義の受講生を対象に環境問題と科学技術に関する意識調査を行った。調査には質問票を準備し、自由回答法、選択肢法を併用した。調査時期は2001年9月から10月にかけて行ない、講義時間内に説明を加えながら記入を求め、即日回収した。調査人数は232名であった。

調査対象者の平均年齢は19.6歳で、18歳から25歳の幅となった。また所属学部は社会学部145名、文学部51名、教育学部36名であった。また性別を見ると男性113名、女性119名となった。

2-2. 調査項目

準備した調査項目は以下のとおりである。

○あなたの人生にとって最も優先される価値は次のうち、どれか。

A. 健康 B. 金銭 C. 仕事 D. 趣味 E. その他 ()

○自然を保護すれば、人間の健康も守られると思うか。

A. どちらかというと思う B. 思わない C. どちらともいえない

○環境問題についてどの程度関心があるか。

A. 非常にある B. ややある C. あまりない D. 全くない

○危機感や関心をもっている環境問題にはどのようなものがあるか。(複数可)

A. 温暖化 B. オゾン層破壊 C. 酸性雨 D. 砂漠化 E. 海洋汚染
F. 森林減少 G. 野生生物種の減少 H. 途上国の公害 I. 有害廃棄物
J. エネルギー資源の枯渇 K. 環境ホルモン L. ダイオキシン

M. ゴミ問題 N. 有害物質による食品公害 O. 大気汚染 P. 騒音公害

○環境保護を考える際、「保全」と「保存」の2つの考え方がある。「保全」は〈……からの節約〉を意味し、最終的には人間の将来の消費のために天然資源を保護する

考え方であり、「保存」は〈……からの保護〉を意味し、生物の特定種や原生自然を損傷や破壊から保護するということで人間のためというより、むしろ、人間活動を規制しても保護しようという考え方である。あなたの考えはどちらに近いか。

- A. 保全派 B. 保存派

○「環境ホルモン」について知っているか

- A. 名前だけ知っている B. 少し知っている C. 詳しく知っている
D. 知らない

○普段の生活において、環境ホルモン問題を気にかけているか。

- A. おおいに気にかけている B. 少し気にかけている
C. あまり気にかけていない D. 全く気にかけていない

○以下の項目の中から「環境ホルモン」として気になるものをあげよ。(複数可)

- A. ダイオキシン B. 農薬 C. 合成洗剤 D. カップめん容器
E. 塩化ビニール製おもちゃ F. 塗料 G. ポリカーボネート製食器
H. 医薬品 I. ポリカーボネート製ほ乳瓶 J. 化粧品

○次に挙げる項目についてダイオキシンが発生する可能性が高いと思われるものに印をせよ。(複数可)

- A. 新聞紙を燃やす B. ポリエチレンの袋を燃やす
C. 木綿のシャツを燃やす D. 塩ビラップを燃やす E. 建築廃材を燃やす

○飲料容器などに使用する場合、金属缶、PET ボトル、紙パックではいずれがもっとも環境に負荷がかかる材料だと感じるか。

- A. 金属缶 B. PET ボトル C. 紙パック

●またそれはなぜか。

()

○リサイクルプラスチック製品など環境低負荷商品の購入について、

●従来のものより少し割高な場合

- A. 積極的に購入する B. 消極的である C. どちらともいえない

●従来のものより色、見栄えなどが劣る場合

- A. 積極的に購入する B. 消極的である C. どちらともいえない

○「高分子化合物」という用語について知っているか。

- A. 名前だけ知っている B. 少し知っている C. 詳しく知っている
D. 知らない

○「化学（……物質、……技術など）」に対するイメージについて近いほうに印をせ

よ。

- A. 〈明るい・暗い〉 B. 〈有益・有害〉 C. 〈安全・危険〉
D. 〈親しみがある・親しみがない〉 E. 〈必要性が大・必要性が小〉
F. 〈平易・難解〉

○現代の化学技術についての印象は次のうちどれに近いか。

- A. さらに発展させる方がよい B. 現レベルで十分である
C. 技術のみが進みすぎている

○現在の環境保全型技術といえば、次のどの分野と一番結びつくと考えるか。

- A. 機械系 B. 土木・建築系 C. 電気系 D. 情報・通信系
E. 分析化学系 F. 合成化学系 G. 材料化学系
H. 農林水産系 I. 生態・遺伝子系 J. 医薬系
K. 宇宙・天文系 L. 地質系 M. 気象系

○具体的な環境保全型技術，材料について知っているか。

- A. 知っている（いくつでも）
B. 知らない

○環境保全を推進するため最も積極的に研究を進めるべき分野は，次のうちどれと考えるか。

- A. 工学技術 B. 化学技術 C. 生態学 D. 政治・行政 E. 経済
F. 教育 G. 歴史 H. 倫理・哲学 I. 社会学 J. 宗教

○今後の環境保全にとって化学技術の発展はどのような影響を与えると考えるか

- A. プラス B. ややプラス C. ややマイナス D. マイナス

○化学技術の発達によって，人間にとって有益なもの（医薬，農薬，新機能材料などのプラス要素）がもたらされた反面，有害なもの（アレルギー，アトピー，シックハウス，環境ホルモンなどのマイナス要素）も新たに増えてきた。これについてあなたは今後の方向性としていずれが望ましいと思うか。

- A. どちらかといえばマイナス要素が少し増えようともプラス要素の発展を優先する。
B. どちらかといえばプラス要素の発展が押さえられてもマイナス要素への対策を優先する。

○環境教育の中心となるべき科目は次のうちのどれと考えるか。

- A. 語学 B. 数学 C. 理科 D. 社会 E. 保健体育 F. 道徳
G. 技術家庭科 H. 芸術

○科学技術の飛躍的発達によって人間活動は地球の生態系全体にまで影響が及ぶようになった。これに伴い、生態系を中心とした生命中心主義の考え方が現れはじめた。このような考え方についてどのように感じるか。

A. どちらかといえば共感できる B. どちらかといえば共感できない

以上の合計21項目について調査を行った。

2-3. 学生の環境と技術の関わりに関する意識の概要

前項で示した調査票をもとに集計を行ない、学生の環境意識を調べた。ここでは数値化できるデータをもとに概観する。人生の優先価値基準について問うと、約半数が「健康」を最優先に挙げた。さらに次の質問から自然保護と健康を守ることに関係があると答えた層は2/3に上り、環境汚染が人間の健康に影響を及ぼしていると考えている。

そこで環境問題への関心度を調べたところ、「非常にある」、「ややある」と積極的な態度を示した者が89.2%と約9割を占めた。複数回答で具体的な問題について選択させると、「温暖化」(73.3%)、「オゾン層破壊」(63.4%)、「森林減少」(55.2%)、「ゴミ問題」(53.4%)の4項目について過半数を超えた。以下、「酸性雨」(42.2%)、「大気汚染」(41.8%)、「ダイオキシン」(37.5%)と続いた。これに対して「砂漠化」、「途上国の公害」など国内で実感できないものはそれぞれ24.1%、16.4%と低く、身近な問題として捉えていない傾向が伺える。

また、一般に環境保護を考える際、前提の異なる2つの立場である「保全」と「保存」があることから、学生の意識の上では、持続可能な活用を考える「保全」の立場か、自然そのものの価値を最優先に尊重する「保存」の立場のどちらが優勢なのかについて確認した。しかし結果はほぼ半数にわかれ、傾向は伺えなかった。

続いて個別の項目について調べるため、まずは「環境ホルモン」の問題に絞り、いくつかの設問を行った。「環境ホルモン」の知名度についての質問では、マスコミなどでも大々的に取り上げられていることから「知らない」と答えたものは全体の3.0%にすぎなかった。しかし「名前だけ知っている」との回答が40.9%にのぼる反面、「詳しく知っている」との回答は3.9%しかなく、「名称」と「内容」に隔たりがあることがみてとれる。次の設問では「環境ホルモン」を気にかけているかという問いかけであるが、「あまり気にかけていない」が40.9%と最も多く、「全く気にかけていない」と「あまり気にかけていない」を加えると75.4%を占める。これを前質問と併せて考えると、理解しているがゆえの落ち着きではなく、知らないから怖くないといった状況ではないかと危惧される。

このことはダイオキシン類発生のメカニズムについての問いでも同じ評価ができる。ここでは一般的な燃焼を例にダイオキシン類発生の可能性の有無を尋ねた。プラスチック系材料である「ポリエチレン」、「塩化ビニル」の燃焼からダイオキシンが発生する可能性を指摘した回答が前者で89.7%、後者で74.1%と実に高率であり、他の選択項目を大きく引き離していた。ちなみに「建築廃材」では30.2%、「新聞紙」が4.3%、「木綿」が2.2%であった。これは複数回答であり、回答者はプラスチック系材料を燃焼させるとほとんど必ずダイオキシンが発生すると考えていることがわかる。ダイオキシン類は毒性が極めて強いために微量でも生態への影響や環境汚染を引き起こすことはよく知られているが、その構造までは一般には知られていないそのため、プラスチックの燃焼がすべて発生原因になるわけではないにもかかわらず、一般には大きく誤解されていることになる。

同様に飲料容器として環境に負荷がかかる材料を尋ねた場合についても、「金属缶」、「PET ボトル」、「紙パック」ではそれぞれ、13.8%、70.7%、13.8%となり、やはりプラスチック材料が環境破壊の大きな要因と考えられている。この理由として自由回答を求めたが、無回答を筆頭に、「なんとなく」、「リサイクルしにくい」、「プラスチックだから」、「燃やすと有害だから」などをはじめ、ほとんどが曖昧な感覚で選ばれていることがわかった。「紙製品」に関しては「森林資源の減少」と理由が明確であることと比べて特徴的である。

それではリサイクル製品の購買意欲についてはどうかを調べたところ、コスト的に割高になると「消極的になる (63.8%)」ことが示された。これに対し、使用には問題がないが、色、見栄えなどの品質が劣ることに関しては「積極的 (37.1%)」、「消極的 (33.2%)」とわずかながら肯定的意見が上回った。リサイクルを考えるときには経済的な価値基準が大きな条件となり、一般側の視点からも技術と経済を切り離せないことを裏付けた結果となった。

プラスチック材料といえば非常に身近に感じるが、はたして高分子化合物という呼称は一般に定着しているかを確認するために用語の認知度を調べた。それによると、「名前だけ知っている」が26.7%、「少し知っている」が6.0%、「詳しく知っている」が0.0%、「知らない」が66.8%であった。現代文明に欠かせなくなっている高分子化学はその実際の浸透度とは裏腹に、分野としては認知度が極めて低いことがわかった。

また「化学」という言葉のもつイメージを、いくつかの形容語句で判断してもらった結果、必要性という項目を除き、ほぼネガティブなイメージが大勢を占めた。特に

「安全か危険か」では「危険」の印象が強いという回答が95.4%、「親しみがある、ない」では「ない」が90.5%、「平易か難解か」では「難解」が98.6%といずれもほとんどの回答者がネガティブに捉えている。これはよく言われる「理科ばなれ」の段階を越えて、一部の者にしか化学情報に対して正しい判断が下せなくなるという危険性をはらんだ結果といえる。ただし、「必要性の大小」では「大」が85.0%となった。このことから「化学技術は人類にとって必要不可欠であるが、一般的には難解で危険度の高いものである。」との文脈が成り立つ。これは扱いや評価は専門家に任せるしかすべがなく、一般的には結果を受け入れるしかないといった、極めて不健全な状態を生み出していることになる。

次に環境保全を推進するために最も積極的に研究すべき分野について問うた。社会科学系の回答が通常に比べて低かったのはここまで技術や科学についての質問が続いた影響も大きく、若干バイアスがかかっていることも考えられる。ともかくここでは生態学が最も環境保全とかかわりが深いとみなす結果が得られている。直前の設問で現在の環境保全型技術の中心分野も生態学系とする回答が最も多かった。具体例はエコカーや太陽電池などが筆頭に挙げられており、実際の学問体系を必ずしも反映していなかった。これは質問作製の意図が十分伝わらなかった結果であるが、同時に自然科学系の分類が正しく把握されていないことをも表している。すなわち一般には「環境＝生態系」という1対1の図式が成り立っているのではない。

今後の科学技術、特に化学の発展は環境保全にとってどのような影響を及ぼすかについては肯定的な見解が49.8%、否定的な見解が50.2%とほぼ同数であった。これは現段階で化学の功罪がようやく明らかになってきたことの表れで、今後の発展の仕方が注目されているといつてよい。そこでさらに条件をつけて発展形態を二者択一させたところ、84.9%から「どちらかといえばプラス要素の発展が押さえられてもマイナス要素への対策を優先させるべきである」との回答を得た。

環境問題解決のための長期的展望に環境教育は重要な役割を占める。学生の視点から見た環境教育の中心分野を問うたところ、「理科」分野（34.1%）、「社会」分野（29.3%）、「道徳」分野（20.7%）の順となった。ここからは環境に関する正しい知識の習得とその対策の学習を第一に求め、次いで人間社会との関わり方の視点で学ぶべきであるとの考えが伺えるが、「モラル、倫理観」の確立といった要素が求められていることも見逃すことができない。

最後に調査対象者に「人間中心主義」と「生命中心主義」という環境思想のパラダイムについて歴史的概要を説明した後、「生命中心主義」の考え方への共鳴度を聞いて

た。その結果、76.8%が「どちらかといえば共感できる」と答え、概念上では人間以外の存在の重要性に関しても尊重する意向が明らかとなった。

2-4. 認識

前述の文系学生の意識調査からも明らかなようにいまや「化学物質」はマイナスのイメージが大勢を占めている。さらにこれほど我々の生活に深く広く浸透している材料であるにも関わらず、「高分子」という用語の認知度は驚くほど低い。この高分子化学に対する一般理解度の低さの認識から出発することは、持続的社会構築のための高分子化学の発展を考える際に、非常に重要であると考ええる。

前節の調査の結果、「プラスチック材料は環境に最も負荷のかかる材料である。」あるいは「燃焼によってダイオキシンが発生する。」との認識が8割前後を占めていたことが明らかとなった。プラスチック、金属、紙という全く異なる材料を一線上に並べて評価することはもちろん非常に困難である。しかし近年環境影響分析（LCA）という手法が研究されてきている。これは環境への影響要因を環境負荷として定量的に算出するものであり、異なる材料の環境への影響を客観的に評価しようという試みである。例えば米国で行われたポリエチレン製の買い物袋と紙製の買い物袋を LCA 評価すると、ポリエチレン製の袋の方が、環境負荷は少ないというデータが示されている。この評価ではポリエチレンについては原油の採掘から、紙については原木の伐採から、製品の製造、そして使用後の一部はリサイクルされ、最終的には無公害焼却によって処理されるとして両製品のライフサイクルにおけるエネルギー収支が計算された。なおこの解析では同量の買い物をした場合、ポリエチレン袋のほうが紙袋よりも1.5倍から2倍消費されるとしている¹⁰⁾。ここでプラスチックは環境に負荷が少ないといっているわけではない。希少な石油資源を利用していること、自然の物質循環系にはそのままでは組み込まれないことなどからも現在の PET ボトルの氾濫は非常に憂慮すべきことである。しかしここで問題となるのは「プラスチックは環境に悪い」という感情的、主観的な判断で環境問題を論ずることが逆に問題の本質を覆い隠してしまうのであって、非常に危険性が伴うことを指摘したい。特にプラスチック製品はその普及率にも関わらず、正しく理解されていないことが環境破壊の原因を複雑にしている一つの要因であると考ええる。また PET ボトルを挙げた理由の中で「ナイロンだから」や「ポリエチレンだから」のように、異なる物質と混同している意見が多数見られた。専門家には常識であることが予想以上に一般には理解されていないことが

10) 山本良一『エコマテリアルのすべて』日本実業出版社、1994年、pp. 76-77

今回の意識調査で明らかとなった。「ダイオキシン発生メカニズム」についてもプラスチックの燃焼が総じて高だけでなく、疑いのある「ポリ塩化ビニル」よりも「ポリエチレン」の選択率が高い。これは調査票の前半に来る選択肢を選ぶ確率が高いことにもよるが、高分子化合物の種類を識別していないことは明らかである。この結果から化学に関する知見は驚くほど低いこと、さらに化学そのものに対する根強い抵抗感があることが明らかとなった。

3. 科学技術と倫理

1章では高分子化学がもたらした問題点と現在の高分子化学分野で進められている環境への対策について言及した。2章では文系学生をモデルとして一般の人々の化学に対する認識が非常に低いことを調査結果をもとに提示した。すなわちこの2つの章を通じて高分子化学を専門とするものが向かわなければならない方向性と一般のその認識とに大きなギャップが存在していることが明らかになったのである。一つのコミュニティを考えたとき、ことを廃棄物や有害化学物質に限定したとしても、現時点においてすでに構成員の平均の理解度は、求められるそれをはるかに下回っている。持続可能な社会を目指すにおいて、効果的に技術や制度を取り込んでいくためには専門家だけの運営では限界がある。それどころかある一定以上の大きさを持つコミュニティにおいて、各分野の専門家は数的にはマイノリティにならざるを得ず、システムが破綻するのは必定である。それではなぜこのようなギャップが存在するのであろうか。

そのことを考えるために技術者の専門家としての役割を考えてみたい。塚本は技術者の倫理規範を次のようにまとめている¹¹⁾。

(1) 専門職としての役割

現在の社会が抱える問題点を科学的に分析し、科学技術でできること、できないことを正しく明示すること。リスクの評価や安全の評価は科学技術者の責務である。

(2) 結果の予測と対応

科学的評価にもとづいて結果を予測し、市民の健康や安全に不利な影響を及ぼす場合は、回避する手段・方法を開示し、専門家の立場で意思決定を行う。

(3) アカウンタビリティ

11) 塚本一義『テクノエシックス』昭和堂、2000年、p. 191

評価や結果に対する社会的責任の判断は、司法や市民が中心となつて行ない、科学技術者は自分の行為に対する責任を受け入れなければならない。

(4) 情報公開

客観的な真実の情報を適切な形態で市民に提供し、市民の理解と合意を得ることが必要である。

(5) 一市民としての倫理

科学技術者としての倫理規範と同時に、社会の一員として一市民の立場でどうあるべきかを考えなければならない。

ここに挙げられた役割の中で最も欠如しているのが「客観的な事実情報を適切な形態で一般に示し、理解と合意を促すこと（情報公開）」である。一般の側からすると先の調査結果が示す通り、現代の化学は「難解」という評価である。ここにはもちろん専門家側のインタープリターとしての能力が到底満足いくレベルではないという実情があり、自助努力、システム整備などを至急に検討する必要がある。しかしさらに考えを掘り下げると、物理学を基礎とした20世紀型科学技術が主として「全体事象を可能な限り分解して部位にし、各部位要素を分析し、解明することで全体像を把握する」というパラダイムを有し、この方法論を駆使して細分化、高度専門化を推し進めて来たことに起因する。そのため今日では個々の専門領域は非常に狭められ、科学者であっても自らの狭い専門領域を一步出ると同じ学問分野であっても理解できないという状況となった。これは実に重要な論点であり、事実21世紀の生命科学や環境科学のような複雑系と呼ばれる未知領域に対しては、この20世紀型科学技術のもつパラダイムは無力であることがわかってきている。したがってこれまで微分の概念で捉えられてきた解析の手法を、積分の概念に置き換えるなど新たなパラダイムを見つけ出さねばならない。

また一般普及を目的とした情報には、客観性という観点から疑問符のつくものも多々あり、それが無用な混乱を招いている事実もある。さらに発信に対するフィードバック機構が整備されていないため、理解と合意に至ったかについて判断する情報が得られず、改善することができない、などが考えられる。また概ね技術者、専門家は「何がわかったか、何ができるか」に対しては積極的に表現しようとするが、「わからないこと、できないこと」についての言及には消極的である傾向もあり、これも事態を複雑にしている要因である。

結果の予測と対応に関しても現在の科学技術のもつ限界性の問題点がある。(2)の記述内容は書いてしまえば当たり前のことであるが、忠実に遂行することは至難の

業である。一般に未知の問題の影響については正確に評価、説明しようとすれば、一般人にとっては曖昧かつ難解な表現とうつる。その結果が重要であればあるほど、あるいは複雑であればあるほど、その傾向は顕著になる。まして（３）のアカウンタビリティを考慮すると予測や意思決定に対し慎重にならざるを得ない。これに対し、一般人は白黒決着がつくような単純明快な解説を好み、灰色で複雑な説明は彼らに対して説得力が弱いのである。この点に関しては一般側の理解と協力も不可欠となってくる。

このように20世紀型科学技術そのものが内在的に専門家と一般人を乖離させる構造を有している。さらに悪いことに現代の科学技術文明は人々の欲望とそれを制御しようとする権力によって支えられている。A. シュネイバークはこれを「生産の踏み車システム」と呼び、環境破壊と階級格差の増大に関して際限なく続く悪循環となっている¹²⁾。

打開のための方策としては、（１）現在の細分化され、極度に専門化した科学の内容を一般に伝える効果的な制度の確立、（２）学際的な専門家集団の育成と彼らによる提言、などが考えられる。（１）については一般側にある根強い抵抗感の排除が第一であり、双方の協力体制と信頼関係の樹立が必要不可欠となる。（２）に関しては上述したような自然科学のパラダイムの見直しとともに、国家レベルの支援体制のしくみをつくりあげなければ、継続的で効果的な方策が得られない。そのため忍耐強い取り組みが求められることになり、意識変革を伴った教育の重要性が改めて再認識される。

4. 持続可能な発展への高分子化学の役割

4-1. 持続可能な社会システム

それでは持続可能な発展に関して高分子化学はどのような貢献を成し得るか。それを考える前にまず持続可能な社会システムについて検討する。持続可能な発展とは将来の世代が自らのニーズを充足する能力を損なうことなく、現在の世代のニーズを満たすような発展のことであり、この定義は「環境と発展に関する世界委員会（ブルントラント委員会）」の報告書に盛り込まれた。これを踏まえて1992年の地球サミットでは次のような考え方を含みリオ宣言が採択された。それは、（１）あらゆる意思決

12) A・シュネイバーク『環境と社会』満田久義他訳、ミネルヴァ書房、1999年、p. 86

定過程において環境や資源への配慮を行うこと、(2) 世代間衡平と南北間衡平の確保、(3) 環境や生活の質から見た評価を組み込み、将来世代をも含めた長い目で見た社会的効率の達成、という3つの柱である。

この考え方を社会システムに応用する場合、様々な分野における持続可能性の追求およびその有機的な統合が必要なことはいうまでもない。大きく分けると経済、行政、法律など社会を規定する制度の因子、個人の行動や考え方などの基となる価値観の因子、および技術の因子となる。これらが三位一体となって初めて持続可能性の道が開けるといえる。制度としての持続可能性、持続可能性を維持するための価値観の確立、に関しての議論はここでは詳細には検討し得ないが、現行制度の抱える問題点、現代先進国社会が有する価値観による持続不可能性は周知の事実である。

例えば制度について、「現行の資本主義体制こそが南北問題を産み出し、ひいては環境問題の元凶となっている。」といった類の古くから行われている社会学的な論争がある。また価値観の大きな転換を伴う問題として「大量生産、大量消費文明に慣れてしまった我々が現実的に便利さ、物質的豊かさを放棄した生活に戻れるか」という議論がある。いずれも難題であり、幾多の社会学者、環境倫理学者が今なお激しい議論を繰り広げ、一向に決着がつくようには見えない。何故なら制度に関しては、各階層における正義、真実がそれぞれ異なることから社会全体において迅速にコンセンサスを得ることは非常に難しいからである。また多くの人間に価値観の転換をもたらすには、その方向転換がドラスティックであればあるほど強い動機付け、あるいは忍耐強い働きかけがロングスパンで要求されるからである。要するに領域が「人間」そのものを対象とする社会科学的範疇にあり、主観を外しては論じられないことに帰するのである。もちろんそれぞれは非常に重要な課題であるのは間違いなく、拙速な結論を求めるべきものではないのも確かである。しかしここで我々が強く認識しておかなければならないのは、その間にも事態は確実に深刻化の一途を辿っているということである。

それでは現状における突破口は何であるか。その鍵は技術の因子が握っていると考ええる。もちろんそれは従来の20世紀型科学技術の援用では断じてない。20世紀型科学技術は内省なしに猪突猛進していった結果、環境破壊を招き、さらに一般認識、理解を置き去りにした結果、欲望のみを肥大させることになった。これはいわば直線型科学技術と呼べる。それに対してこれから求められる技術、突破口になりうる技術はスパイラル型科学技術と定義できる。すなわち、技術の発展と同時進行で環境をも見据えた技術倫理を確立し、さらに一般とのつながりを確認するフィードバック機構を備

え、らせん状に発展させるのである。「持続可能な社会構築のために体制を変革しよう」や、「持続可能性を追求するために従来の価値観を転換しよう」という働きかけには賛否両論、様々な議論が飛び交うことになるだろう。しかし、「持続可能な発展に貢献する科学技術を開発しよう」という意見に対して反対する意見はないはずである。資源浪費型既存産業からの抵抗はあるかもしれない。しかしそれは主として経済的理由からであって、技術そのものに対する抵抗ではないはずである。以上のことから新しい概念となるスパイラル型科学技術ならば持続可能な社会システム構築の牽引車的役割を担うことができると結論付けられる。

4-2. 高分子化学の役割

それではそのスパイラル型科学技術分野における高分子化学の位置はいかなるものかについて検証する。前項でも見てきたように化学分野に対して一般は根強い警戒感をもち、溝は相当に深い。さらに現時点では光のあたる部分への期待感よりもむしろその影の部分への嫌悪感が顕在化してきている。我が国においては知識としての環境問題と、実感としての環境問題には温度差がある。また最初の質問項目で見たとおり、我々の「健康」に関する関心は非常に高い。これらを総合するとグローバル、ローカルを問わず、その環境問題を自分自身の問題として捉えるための重要因子の一つは「健康」であることがわかる。然れば化学のマイナスイメージの形成は主としてその部分に原因があると思われる。

以前「化学物質」という言葉から連想される事を講義中に自由記述してもらったことがあったが、総じてネガティブな内容であった。実は厳密な意味では「化学物質」という言葉のイメージは中立的であり、尋ねること自体がナンセンスなのは化学の知識を少し持ち出せば、すぐにわかることである。つまり地球上に実在するすべてのものが何らかの元素の結びつきから成り立っており、それは人間自身の体も例外ではないからである。しかしたとえここで暗黙の了解として人間が新たに作り出した「合成化学物質」のみを指しているにしても、有害でない、むしろ大変有用なものとして広く普及している物質は数多くある。然るに一般認識として「合成化学物質」は人間自身に、さらに環境にあまねく悪影響を及ぼしているとして不信感を抱かれているのである。

中でも高分子化学の分野は前述したように「廃棄物」と「環境ホルモン」という我が国における2つの重大な環境問題の主原因と目されている。従って高分子化学は新規で高機能な材料を生み出すハイテク産業としての役割は担えども、環境関連分野においてはむしろ負の関わりが多いとされる。しかし視点を変えれば逆にこの状況こそ

好機と捉えることができる。強い批判にさらされているということは体系全体を見直す必要に迫られているわけであり、安穩と現状に甘んじていけないということである。逆に分野全体をもって変革に成功すれば、スパイラル型科学技術の方向性に先鞭をつけることができると考える。

それでは高分子化学はそのような変革の可能性を持っているか。まず分野の成熟度を検討すると、高分子の概念が定着したのは1930年後半カロザースのナイロン発明からである¹³⁾。ここで初めて明確な分子をつないでいくというコンセプトを持って分子量が1万以上の化合物が作られたのである。してみれば高分子化学は誕生して70年足らずの歴史ということになる。哲学や幾何学などは言うに及ばず、ニュートン力学や電磁気学など近代自然科学と呼ばれるものと比べてさへはるかに若い分野である。石油資源の普及に伴って黎明期の高分子化学は驚異的な期待とまたそれに見合う実績をもって爆発的に発展し、そして現在、高分子化学技術が内包していた不都合な側面が顕在化し環境問題にまでなってきたのである。現在はいわば正負両面が認識され、本当の意味での出発点に立ったといつてよい。すなわち数学、基礎物理学の分野などのように精緻に理論が張り巡らされている、既に確立された分野ではないということである。

さらに材料に関する分野であることも重要な条件である。それは一つには具体的な効果を比較的早く検証できることが挙げられる。これによって達成感の確認、フィードバックによる修正などが容易になると考えられる。もう一つはDNAへの関与なしに取り組める技術分野であることが挙げられる。すなわち新規物質の体内摂取への恐怖や生命倫理への抵触など、遺伝子への直接介入という人間の本来的な抵抗感を喚起しない。

また分子制御の優位性も見逃すことができない。環境調和性を含めた目的適合性を検討する場合、金属材料では合金などはあるものの、目的に応じた分子設計を求めることは難しい。それに対して高分子材料は分子設計が可能であり、さらに高次構造を制御することによって各種の機能性を付加することが可能になる。

そして何よりも大切なことは自然界の生態系システムを構成しているほとんどの要素は高分子からなっているという事実である。先ほど高分子化学分野は若い分野であると述べた。しかしこれはあくまでも高分子概念の認知、および合成高分子材料開発という点においてである。高分子そのものは人間の誕生するはるか以前から存在して

13) 井上尚之『科学技術の発達と環境問題』東京書籍、1998年、p. 137

おり、範囲は無生物から生物まで広く全存在を覆っているのである。そのことから、見方を転ずれば極めて総合的であり学際的であり、関係する研究環境が大変広いといえる。だからこそこの高分子分野の真の発展が、持続可能性を支える技術の因子の中核を担える大いなる可能性を秘めているのである。

結 論

これまで現在の深刻な環境破壊の大きな原因の一つとみなされてきた20世紀の直線型科学技術について問題点を指摘してきた。そして新しくスパイラル型科学技術を提唱し、それこそがこれからの持続的社会構築のための牽引の働きをするべきであることを論じてきた。さらに幾多の科学技術の中でも高分子化学分野は技術全体の重要なキーファクターになることを検証した。

スパイラル型科学技術は自然科学と倫理学を真に連携させた全く新しい形態でなければならない。さらに一般へのインタープリテーション、一般からのパーティシペーションをもって、常にフィードバックしながらせん状に前進することが求められる。このためには、言い換えれば、広い意味での教育が重要な役割を担うことになる。

そして高分子化学に期待される役割は1章で述べたマイナスからゼロまで回復させる環境保全型材料、ゼロを維持する環境調和型材料の概念をさらに一歩進めた「環境発展型」材料の創造である。それはゼロからプラスに向かう概念であり、材料という具体性をもった物質からの持続性を追及する試みである。